ISBN : 978 - 979 - 17724 - 9 - 5

Proceedings

PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN VIII

Asosiasi PanasBumi Indonesia

30 Tahun PanasBumi Indonesia:

" Menyamakan Persepsi Stakeholder Nasional dan Daerah Untuk Percepatan Pemanfaatan Energi PanasBumi"

ASOSIASI PANASBUMI INDONESIA A.P.I

PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN VIII YOGYAKARTA 2008

3 Desember 2008

Grand Mercure Hotel, Yogyakarta

Chevron

PERTAMINA Geothermal Energy

supreme energy

Magma Nusantara Ltd

MEDCOENERGI Geothermal

ORMAT

ITOCHU

PT REKAYASA INDUSTRI ENGINEERING & CONSTRUCTION

INDONESIA POWER

BIMASENA

agrinergy

PROSIDING
PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN VIII
ASOSIASI PANASBUMI INDONESIA

3 Desember 2008
Yogyakarta, Indonesia

30 Tahun PanasBumi Indonesia:
"MENYAMAKAN PERSEPSI STAKEHOLDER NASIONAL DAN DAERAH UNTUK PERCEPATAN PEMANFAATAN ENERGI PANASBUMI".

Diedit oleh:

Dr. Yunus Daud
Dr. Deendarlianto
Agus Sulaiman Rasyd
Luthfirrahman A.
Hardian

DISELENGGARAKAN OLEH:
ASOSIASI PANASBUMI INDONESIA

DILAKSANAKAN OLEH:
PANITIA PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN VIII

PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN VIII
ASOSIASI PANASBUMI INDONESIA
2008

3. **Penerapan Monitoring Analisa Oli Sistem Lubrikasi dan Kontrol Untuk *Menjaga Performa Oli, Effisiensi Biaya Operasi dan Sumber Daya Mineral Di PLTP Kamojang Unit-4*** 55
Catur Hendro, Widodo Suwanto, Marsudiyono, Eko Setyobudi

4. **Prediksi Life Time Steam Suplay Dari PL405 Berdasarkan Monitoring Decline Tekanan Discharge Maksimum Lapangan Kamojang** 56
Ahmad Yani , Agus A. Zuhro, Rahmad H

5. **Evaluasi Exergy Untuk Menganalisa Efisiensi Sistem *Double Flash*.** 64
Armynas Handyas Wijayatma, Eko Widi Pramudiohadi

6. **Pengembangan PLTP Binary Cycle di BPPT** 74
Taufan Surana dan Suyanto

7. **Optimalisasi Kerja *Main Cooling Water Pump (Mcwp)* Dengan Vfd *(Variable Frequency Drive)* Dalam Kerangka Strategi Efisiensi Pembangkit Listrik Panas Bumi** 75
(Studi Kasus Di PT. Indonesia Power UBP Kamojang Jawa Barat)
Abdul Majid Zulkarnain, Ruly Husnie Ridwan, dan Khasani

8. **PLTP Sibayak, Turbin Geothermal Pertama Buatan RRC** 83
Sulianto dan Uus R. Kurniawan

C. ***Environments/Regulations/Developments***

1. **Potensi Geowisata di Area Sibayak** 89
Haris Warsita Ak dan Uus R. Kurniawan

2. **Clean Development Mechanism (CDM) Project for Kamojang Unit 4 Geothermal Power Plant** 94
Irma Khoirunissa, Mawardi Agani dan Indrarto S. Utomo

3. **Improvement PT PGE With Applying of ISO 9000** 95
Moeljanto

4. **Study Awal Pemanfaatan Sumber Air Panas di Daerah Lampung** 96
Bambang Joko Suroto[1], Suharno[1], M.Sarkowi[1]

5. **Design, Construction and Operation of Kamojang Unit-4 the Newest Geothermal Power Plant In Indonesia.** 100
Mawardi Agani, Koesnorahardjo, Khairul Rozaq, Zainal I. Bachrun

6. **Perencanaan Peralatan di Permukaan Lapangan Panasbumi Silakitang untuk Pembangkit 2x55 MW** 101
Eko Widi Pramudiohadi

7. **CDM and Geothermal** 117
Bjorn Sandin

8. **Pengembangan Masyarakat Melalui Pemanfaatan *Brine Water*** 122
Yames Jr Suawa

PERENCANAAN PERALATAN DI PERMUKAAN LAPANGAN PANASBUMI SILAKITANG UNTUK PEMBANGKIT 2X55 MW

Eko Widi Pramudiohadi
Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Yogyakarta
Jl. Ring Road Utara (SWK) No.104, Yogyakarta 55283

E-mail :
ekowidip@yahoo.com

Abstrak

Lapangan panasbumi Silakitang ditargetkan dapat membangkitkan daya listrik sebesar 2x55 MW, disuplai dari dua sumur yang telah di bor, yaitu sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3, hal ini akan memproduksikan air brine dalam jumlah yang cukup besar, disisi lain reservoir memiliki keterbatasan dan hanya mampu menerima air brine maksimal 1650 ton/jam, juga perlu dilakukan efisiensi dengan meminimalkan sumur produksi dan sumur injeksi yang akan dibor.
Untuk mengatasi batasan diatas perlu direncanakan peralatan produksi di permukaan dengan menggunakan separator bertingkat (double flash), termasuk sistem perpipaan, peralatan pemisah kondensat (scrubber) dan sistem pembangkit listrik terutama tekanan masuk turbin.
Dengan menggunakan separator bertingkat, uap dari hasil pemisahan di separator-1 dialirkan ke turbin dengan tekanan masuk yang tinggi, sedangkan air brine (dari separator-1) masih dapat diekstrak uapnya di separator-2, untuk dialirkan ke turbin, pada tekanan masuk yang rendah.
Hasilnya untuk sumur SIL 1-3 dapat mensuplai daya listrik sebesar 63 MW, namun untuk sumur SIL 1-2 hanya mampu membangkitkan listrik 27 MW, sehingga diusulkan menambah satu sumur produksi baru, yaitu sumur SIL 1-4, dalam memproduksikan fluida panasbumi sumur SIL 1-2 dan sumur SIL 1-4 digabung, sehingga menghasilkan daya sebesar 72 MW dari kedua pembangkit ini menghasilkan air brine 1500 ton/jam, dilayani oleh delapan sumur injeksi (diusulkan akan dibor).

Abstract

The geothermal field of Silakitang is target to be generated electricity about 2x55 MW, from two wells which have been drilled, namely SIL 1-2 well and SIL 1-3 well, will be produce a lot of water, the other hand the reservoir only can receive water 1650 ton/hour and there must be efficient for using the producing well and injection well which will be drilled (bored).
To do that must planed production equipment in the surface using double flash, pipe line, scrubber and electricity generator system which in the turbine.
By using double flash the separated steam from separator-1 is flown to the turbine in high pressure, but the water from separator-1 can be extracted the steam in separator-2 to be flown to turbine in lower pressure.
Then the SIL 1-2 well can be supply electrical power more 63 MW, but the SIL 1-2 well only generated the electricity 27 MW, so it suggest to add one new production well, SIL 1-4 well, in the fluid geothermal production the SIL

1-2 well and 1-4 SIL well to be joint so produce the power 72 MW, from two generator produce water brine 1500 ton/hour, use eight injection wells will be drilled.

Kata kunci: pembangkit 2x55 MW, output curve, double flash, turbine double flow

PENDAHULUAN

Pada lapangan panasbumi Sarulla khususnya lapangan Silakitang telah dilakukan pemboran ekplorasi, yaitu sumur SIL 1-1,1-2,1-3, 3-1 dan 2-1, namun yang terbukti prospek adalah sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3, perencanaannya memiliki batasan :

1. Targetkan 2x50 MW (dengan angka keamanan 10 %, sehingga dibangun 2x55 MW) di rancang menjadi dua turbin dengan masing-masing 1x55 MW.
2. Melakukan efisiensi dengan meminimalkan pemboran sumur produksi dan injeksi.
3. Injeksi air *brine* maksimal 1650 ton/jam ke dalam reservoir utama (kedalaman 2300 m).

Untuk memenuhi batasan diatas, dilakukan pemisahan bertingkat dua (*double flash*), termasuk pemilihan tekanan kepala sumur, perencanaan *separator* (*separator*-1 dan *separator*-2), *scrubber* (*scrubber*-1 dan *scrubber*-2), sistem perpipaan dan pemilihan tekanan masuk turbin.

Pada tekanan kepala sumur 26 bar (tekanan optimum), sumur SIL 1-2, menghasilkan daya sebesar 27 MW, keluaran dari *separator*-2 berupa air *brine* 277 ton/jam, temperatur 194 °C.

Sumur SIL 1-3, menghasilkan daya 63 MW, keluaran dari *separator*-2 berupa air *brine* 655 ton/jam dengan temperatur 198 °C.

Total daya yang dihasilkan oleh sumur SIL 1-2 dan 1-3 tidak mencapai target daya 2x55 MW, hanya sumur SIL 1-3 yang memenuhi 1x55 MW, sehingga diperlukan satu sumur produksi lagi, yaitu sumur SIL 1-4.

Sumur SIL 1-4, dalam memproduksikan uap digabung dengan sumur SIL 1-2 (SIL 1-2/1-4), menghasilkan daya sebesar 72 MW, keluaran dari *separator*-2 745 ton/jam dan temperatur 199 °C.

Sehingga total produksi daya dengan menggunakan pemisahan bertingkat, 135 MW, total air *brine* dari masing-masing *separator*-2, 1400 ton/jam dan temperatur campuran 198,5 °C.

Pencapaian target diatas memiliki komposisi *setting* tekanan (pada tekanan kepala sumur : 26 bar), *separator*-1 : 20 bar, *scrubber*-1 : 15,5 bar dan *separator*-2 : 12 bar, *scrubber*-2 : 3 bar, tekanan masuk tinggi turbin : 15 bar, tekanan masuk rendah turbin : 2,7 bar.

Separator dan *scrubber* menggunakan jenis material SA-516-*Grade*70, dengan ketebalan maksimal 0,9 inch dan minimal 0,6 inch, diameter dalam (*ID*) maksimal 105,04 inch dan minimal 66,93 inch serta tinggi maksimal 35,76 ft, minimal 26,25 ft.

Pada sistem pipa tranmisi dipermukaan untuk kedua pembangkit, dari aliran di kepala sumur hingga aliran masuk turbin menggunakan jenis pipa *Carbon Steel Electric Resistant Welded (ERW)*, *Grade B standart API 5L*, dengan *schedule number* (*Sch no*) 23,44 (untuk sistem perpipaan dari kepala sumur hingga *separator*-2) dan *Sch no* 14,06 (untuk sistem perpipaan dari *separator*-2 hingga masuk turbin), diameter dalam (*ID*) pipa berkisar dari 42,31 inch hingga 19,13 inch dan tebal pipa berkisar dari 0,94 inch hingga 0,28 inch.

Turbin yang digunakan untuk 2x55 MW adalah *turbine double flow* dengan tekanan masukkan tinggi (*high pressure*) sebesar 15 bar dan tekanan masukkan rendah sebesar (*low pressure*) 2,7 bar, *type bottom up* dengan tekanan kondenser 0,1 bar.

Kondisi Data Lapangan Panasbumi Sarulla

Lapangan panasbumi Sarulla yang terletak di hutan lindung pegunungan Kerinci provinsi Sumatra Utara, Sumatra Barat dan Jambi, terdiri dari beberapa lapangan panasbumi seperti

ISBN 978-979-17724-9-5

Lapangan panasbumi Sibual-buali (SIB), Silakitang (SIL), Donotasik (DON) dan Namor-I-Langit (NIL), seperti yang disajikan pada **Gambar 1**.
Survei geofisika, geologi dan geokimia telah dilakukan oleh *Unocal Geothermal Indonesia* untuk menentukan lokasi pemboran di lapangan Silakitang dan menghasilkan pemboran sumur-sumur eksplorasi, yaitu sumur SIL 1-1, 1-2, 1-3, 2-1 dan 3-1.
Berdasarkan uji produksi, yang prospek adalah sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3 sedangkan SIL 1-1, SIL 3-1 dan SIL 2-1 kurang prospek, direncanakan sebagai sumur injeksi.
Perkembangan data dari survei yang telah dilakukan dan data pemboran eksplorasi dibuat konsep model seperti yang disajikan pada **Gambar 2**.
Perencanaan tata letak peralatan sistem produksi panasbumi lapangan Silakitang terdapat pada **Gambar 3**, seluas lapangan sepak bola. Karena keterbatasan lahan, yaitu di areal hutan lindung Kerinci, sehingga digunakan jenis peralatan *wellhead turbine condensing*, pembangkit listriknya di dekat kepala sumur.
Hasil pengujian produksi sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3, berupa plot laju massa total terhadap variasi tekanan di kepala sumur, disajikan pada **Gambar 4**, (sumur SIL 1-3 pada uji produksi hanya merekam massa uap) diistilahkan sebagai *output curve*.
Dari **Gambar 4**, dapat dibuat kurva *dryness* terhadap variasi tekanan di kepala sumur terutama untuk sumur SIL 1-2, kurvanya disajikan pada **Gambar 5**.
Output curve untuk sumur SIL 1-3 dibuat berdasarkan data *dryness* sumur SIL 1-2, karena pada saat uji produksi tidak dilakukan perekaman massa total di kepala sumur.
Hasil simulasi untuk pencapaian target 55 MW per sumur hanya dipenuhi oleh sumur SIL 1-3 (63 MW) sedangkan sumur SIL 1-2 hanya mampu membangkitkan listrik 27 MW, sehingga diperlukan lagi satu sumur produksi, yaitu sumur SIL 1-4 yang akan dibor diantara sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3. Sumur-sumur produksi tersebut berasal dari *feed zone* yang sama sehingga kinerja sumur SIL 1-4 diperkirakan diantara sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3.
Dengan menggabungkan sumur SIL 1-2 dan sumur SIL 1-4 (SIL 1-2/1-4), *output curve*-nya disajikan pada **Gambar 6**.
Output curve sumur SIL 1-2/1-4 dan SIL 1-3, digunakan sebagai dasar untuk merencanakan dimensi peralatan dipermukaan dalam rangka memenuhi target pembangkit listrik sebesar 2x55 MW.

DASAR TEORI

Untuk pencapaian target sesuai dengan batasan, ada beberapa teori, yaitu:

1. Teori aliran fluida panasbumi dalam pipa.
   a. Aliran dari kepala sumur menuju *separator*-1 (aliran dua fasa, air dan uap air), aliran uap dari *separator*-1 menuju masukkan turbin tekanan tinggi, namun sebelum mencapai masukkan turbin dipasang peralatan *scrubber*, untuk menangkap kondensat dan menurunkan kandungan *chlor*.
   b. Aliran dari *separator*-1 menuju *separator*-2 (aliran satu fasa, air saja) dan dari *separator*-2 fasa uap dialirkan menuju masukkan turbin bertekanan rendah, namun sebelumnya melalui *scrubber*-2, juga menangkap kondensat serta menurunkan kadar *chlor*.
   c. Perpindahan panas dari satu titik pipa menuju titik berikutnya di dalam pipa dan perpindahan panas dari dalam pipa menuju kondisi sekitarnya.
2. Teori pemisahan dan penentuan dimensi *separator/scrubber*.
3. Teori perolehan daya listrik (MW) dari pembangkit (*turbin cycle*).

ISBN 978-979-17724-9-5

1. Teori Aliran dan Perpindahan Panas Dalam Pipa

a. Teori Aliran Fluida Dalam Pipa

a.1. Aliran Pipa Dua Fasa

Tujuan teori ini untuk menentukan hubungan tekanan dan massa di setiap titik segmen pipa, dengan dasar menggunakan metode *Beggs* dan *Brill*, keunggulan teori ini, adalah :

1. Memiliki kesalahan relatif dan kesalahan absolut terkecil (*Torren* dalam penelitiannya metode-metode kehilangan tekanan melalui *annulus*).
2. Metoda *Beggs* dan *Brill*, telah dilakukan validasi dengan data lapangan panasbumi, di lapangan panasbumi Wairakei, New Zealand dan menghasilkan kesalahan relatif dan absolut dengan hasil pengukuran kurang dari 10 persen.

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{\frac{g}{g_c}\sin\theta\left[\rho_L H_L + \rho_g(1-H_L)\right] + \frac{f_{tp} G_m V_m}{2 g_c d}}{1 - \frac{\left[\rho_L H_L + \rho_g(1-H_L)\right] V_m V_{sg}}{g_c \overline{P}}} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

$\frac{dP}{dZ}$ = gradien tekanan, bar/m

$\overline{P}$ = tekanan rata - rata antar dua titik, bar

ρ_L = densitas liquid, kg/m^3

ρ_g = densitas uap, kg/m^3

H_L = liquid hold - up, fraksi

f_{tp} = faktor gesekan dua fasa, tak berdimensi

G_m = fluks fluida campuran, kg/m^2

V_m = kecepatan fluida campuran, m/dt

V_{sg} = superficial gas velocity, m/dt

θ = sudut kemiringan pipa, derajat

g_c = gravitasi koreksi, kgf/kgm - m

g = gravitasi setempat, kgf/kgm - m

a.2. Teori Aliran Fluida Satu Fasa

Teori ini mengadopsi teori aliran dua fasa dari *Beggs* dan *Brill*, karena satu fasa menjadi lebih sederhana dengan tidak memasukkan *no slip*, persamaan dasarnya seperti diperlihatkan pada **Persamaan (1)**, dengan mengganti parameter aliran dua fasa menjadi parameter aliran satu fasa.

a.3. Pelepasan Panas Fluida Panasbumi

a.3.1.Pelepasan Panas Dalam Pipa Antar *Node*

Prinsip menggunakan keseimbangan energi. Untuk jarak dua titik analisa yang pendek, tidak mengalami perubahan kecepatan dan tidak ada kerja yang dilakukan terhadap aliran fluida, sehingga persamaan perolehan temperatur di titik keluar aliran pipa, adalah sebagai berikut :

$$T_2 = T_1 - \frac{q}{Cp} + \frac{g(Z_1 - Z_2)}{Cp} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan :

ISBN 978-979-17724-9-5

T_1 = Temperatur aliran masuk pipa, °C
T_2 = Temperatur aliran keluar pipa, °C
q = laju aliran panas dari suatu segmen pipa, kkal
C_P = kapasitas panas pada tekanan tetap, Cal/kg - °C
Z_1 = ketinggian dari referen pada aliran pipa masuk, m
Z_2 = ketinggian dari referen pada aliran pipa keluar, m

3. Memasukkan pola aliran dan konsep *slip velocity* sehingga mendekati kondisi kenyataan di alam. Persamaannya :

a.3.2.Pelepasan Panas Dari Dalam Pipa Menuju Sekitarnya

Dengan menggunakan isolasi dan *cladding* isolasi (tidak dipertimbangkan pelepasan panasnya karena berfungsi sebagai penutup isolasi), dinyatakan :

$$Q = U_o A_o (T_i - T_a) \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan :
U_o = koefesien keseluruhan perpindahan panas, kW/m²°C
dinyatakan:

$$Uo = \frac{1}{2\pi r_3 L\left(\frac{1}{2\pi r_1 L h_i} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(r_3/r_2\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{2\pi r_3 L h_o}\right)} \quad \text{.....(4)}$$

A_o = luas bidang pelepasan panas permukaan pipa, m²
T_i = temperatur di tengah – tengah pipa, °C
T_a = temperatur sekitar pipa, °C
h_i = koefisien perpindahan panas didalam pipa, W/m²°C
k_1 = konduktivitas panas pipa, W/m²°C
k_2 = konduktivitas panas isolasi, W/m²°C
h_o = koefisien perpindahan panas udara sekitar, W/m²°C
r_1 = jari – jari dalam pipa, m
r_2 = jari – jari luar pipa, m
r_3 = jari – jari luar isolasi, m
L = panjang segmen pipa, m

Untuk mendapatkan enthalpi pada ujung pipa (*grid*), enthalpi dievaluasi terhadap perubahan tekanan dan mengasumsi perubahan volume kecil (dapat diabaikan), sehingga diperoleh :

$$h_2 = h_1 - \frac{\left(V_2^2 - V_1^2\right)}{2} - g(Z_2 - Z_1) - v(P_1 - P_2) - q \quad \text{.....(5)}$$

Keterangan :
h_2 = enthalpi keluar segmen pipa, kj/kg
h_1 = enthalpi masuk segmen pipa, kj/kg
V_2 = kecepatan keluar segmen pipa, m/dt
V_1 = kecepatan masuk segmen pipa, m/dt

Asosiasi Panasbumi Indonesia (API)
ISBN 978-979-17724-9-5

v = volume spesifik fluida, m^3/kg

q = panas yang lepas dari segmen pipa, kW

P_1 = tekanan masuk segmen pipa, bar

P_2 = tekanan keluar segmen pipa, bar

Dari **Persamaan (1)** sebagai profil tekanan dan **Persamaan (2)** sebagai profil temperatur, digunakan sebagai dasar menghitung kehilangan tekanan dan temperatur secara simultan dengan bantuan metode *Newton Raphson* dua variabel.
Untuk memudahkan perhitungan, penulis telah membuat perangkat lunaknya yang diberi nama *PipeSim* (simulasi aliran panasbumi di dalam pipa), baik untuk aliran satu fasa maupun dua fasa.

a.3.3.Penentuan Dimensi Pipa (Diameter dan Tebal Pipa)
Penentuan diameter pipa memiliki syarat :

1. Pada aliran dua fasa kecepatan aliran minimal 20 m/dt dan maksimal 30 m/dt.
2. Pada aliran satu fasa uap, kecepatan aliran minimal 30 m/dt dan maksimal 50 m/dt.

Sedangkan tebal pipa mengikuti persamaan :

tm=(P*Do)/(2*(SE+P*y))+A ..... (6)

Keterangan :
tm = tebal minimum pipa, mm
P = tekanan kerja di dalam pipa, Kpa
Do = diameter luar pipa, mm
S = *stress* yang diijinkan dari pipa, Kpa
E = efisiensi sambungan dari pipa, tak berdimensi
y = angka keamanan, tak berdimensi
A = toleransi diambil 12 % dari tm, %.

Schedule number :

Sch=1000*P/S ..... (7)

Keterangan :
P = tekanan kerja, psi
S = *stress* yang diijinkan, psi

2. Pemisahan Fluida dan Dimensi *Separator/Scrubber*

a. Pemisahan Fluida
Menurut *Wahl* (1977) fluida panasbumi yang masuk *separator* tidak mengalami penurunan tekanan dan temperatur jika syarat kecepatan terpenuhi. Tekanan dan temperatur masuk *separator* sama dengan tekanan dan temperatur di dalam *separator* juga sama dengan tekanan dan temperatur fluida yang keluar *separator*, masing-masing berupa uap dan cairan yang keluar secara terpisah.

Berdasarkan kesetimbangan massa pada aliran stabil berlaku (**Gambar 7**) :

$$x_1 M + (1-x_1) M = x_1 M + (1-x_1) M \quad \text{.....(8)}$$

(fluida masuk separator) (uap keluar separator) (cairan keluar separator)

Keterangan :
x_1 = *dryness* saat masuk *separator*, fraksi
M = total massa fluida saat masuk *separator*, kg/dt

Indeks 1 menyatakan titik di ujung pipa aliran keluar (*down stream*) dan masuk ke *separator*.

Pada keadaan uap keluar dari *separator*, berlaku :
x = 1 (uap semua yang keluar)
$h = h_g$ (enthalpi uap pada temperatur keluar *separator*)

Dari **Persamaan (8)** dapat ditentukan massa uap dan cairan yang terpisahkan di *separator*. Anggapan proses pemisahan di *separator* terjadi proses adiabatis, artinya panas dari masuk *separator* (*well stream*) dapat mengimbangi pelepasan panas dari badan *separator* menuju lingkungan sekitar.

b. Penentuan Diameter dan Tinggi *Separator/Scrubber*

Kriteria yang harus dipenuhi oleh *separator* panasbumi adalah memiliki *residence time* untuk uap 2 detik dan untuk cairan air *brine* 20 detik, hubungan *residence time* terhadap *fluks* fluida untuk uap adalah :

Residence time untuk uap (S_{rg}) :

$$S_{rg} = \frac{A_v L_g}{x\, v_g M} = \frac{S}{V} = \frac{m^3}{m^3/s} \quad \text{.....(9)}$$

Keterangan :
A_v = luas sayatan horizontal *vessel* vertikal, m^2
L_g = tinggi kolom uap, m
x = *dryness*, fraksi
v_g = spesifik volume uap, m^3/kg
M = massa total fluida, kg/dt

Residence time untuk cairan (S_{rl}) :

$$S_{rl} = \frac{A_v L_f}{X v_f M} = \frac{S}{V} = \frac{m^3}{m^3/s} \quad \text{.....(10)}$$

Keterangan :
L_f = tinggi kolom cairan, m
v_f = spesifik volume cairan, m^3/kg

Luas sayatan dapat ditentukan berdasarkan persamaan $A = \pi R^2$, luas sayatan ini tidak semua terisi oleh cairan, karena adanya aliran masuk dan keluar melalui *nozzle*, sehingga luas sayatan (Av = luas sayatan tabung) yang terisi fluida sebagai berikut :

$$A_v = \pi \left(R_1^2 - R_2^2\right) \quad \text{.....(11)}$$

R_1 adalah radius yang terisi oleh cairan dan R_2 adalah radius yang terisi oleh uap, sehingga menurut *Bixley* (1982), perbandingan yang dapat memenuhi *residence time* uap maupun cairan pada perbandingan R_2/R_1 antara 0,5 hingga 0,3. Diameter dalam tabung $2xR_1$.

Jumlah tinggi cairan di dalam tabung (L_f) dan uap (L_g) merupakan tinggi tabung dan umumnya tinggi total sekitar 10 m. Jika lebih dari 10 m pengaruh angin berperan menyebabkan momen puntir, cukup berpengaruh terhadap stabilitas dan pondasi *separator*.

ISBN 978-979-17724-9-5

c. Penentuan Tebal Tabung *Separator/Scrubber*

Dalam penentuan tebal tabung, penulis menggunakan *software PV* (*Pressure Vessel*) *Engineering* (*standart ASME VIII*), program ini memasukkan gaya-gaya yang bekerja pada tabung, yaitu :

a. Gaya-gaya eksternal yang bekerja dari luar.
b. Gaya-gaya internal, yaitu gaya karena adanya tekanan dari dalam tabung.
Kedua gaya di atas mengakibatkan *stress longitudinal* dan *radial*.
c. Momen yang disebabkan adanya angin dan beban berat tabung itu sendiri.
d. Momen yang disebabkan oleh gempa bumi.

Penentuan tebal dari tabung untuk mengimbangi tekanan dari dalam terhadap tekanan dari luar (sama dengan tekanan atmosfer) dibebankan terhadap tebal tabung yang mampu menahan tekanan dari dalam tabung tersebut.

3. Perolehan Daya Turbin

Perolehan daya turbin sangat dipengaruhi oleh massa uap dan beda enthalpi saat masuk dan keluar turbin (masuk kondenser). Disamping efisiensi total turbin, antara lain meliputi efisiensi isentropi dan efisiensi konversi energi panas menjadi energi listrik, menurut *Freeston, D. H.* (1986) biasanya menggunakan harga efisiensi total 0,8.

Turbin memiliki tekanan masuk dan memerlukan massa uap yang konstan (dengan kisaran variasi di bawah 10 %) besarnya sesuai dengan anjuran pabrik pembuatnya.

Perolehan daya turbin dinyatakan secara matematis :

$$Q_{turb} = \eta_{turb} M_u (h_g - h_{m(cond)}) \quad (12)$$

Keterangan :

η_{turb} = efisiensi turbin, tak berdimensi
M_u = massa uap masuk turbin, kg/dt
h_g = enthalpi uap masuk turbin, kJ/kg
$h_{m(cond)}$ = enthalpi masuk kondenser, kJ/kg

Biasanya turbin dihubungkan dengan peralatan kondensasi yang disebut kondenser tujuannya untuk membuat beda enthalpi agar menjadi besar antara enthalpi uap yang masuk turbin dengan enthalpi campuran yang masuk kondenser, dengan demikian tekanan kondenser sangat berperan untuk menghasilkan daya listrik.

HASIL

a. Penentuan Tekanan Kepala Sumur, Tekanan *Separator* dan Tekanan Masuk Turbin

Dalam penentuan tekanan kepala sumur, tekanan *separator* dan tekanan masuk turbin, dilakukan dengan cara *trial and error* mulai dari tekanan kepala sumur dari 40 bar hingga 26 bar untuk mencapai target 2x55 MW.

Proses perhitungannya pada bagian pertama melibatkan aliran dari kepala sumur menuju *separator*-1 (aliran dua fasa).

Dari *separator*-1, uap dialirkan menuju *scrubber*-1 diteruskan ke masukkan turbin bertekanan tinggi (aliran satu fasa).

Pada bagian kedua melibatkan aliran cairan, dari *separator*-1 menuju *separator*-2 (aliran satu fasa cairan) dan aliran uap dari *separator*-2 menuju *scrubber*-2.

Uap dari *scrubber*-2 diteruskan ke masukkan turbin bertekanan rendah (aliran satu fasa).

Pada dasarnya merupakan hubungan massa alir terhadap penurunan tekanan, penurunan temperatur, penurunan energi (enthalpi) dan penurunan *dryness* dengan memasukkan batasan kecepatan di pipa dan di *separator* (*residence time*).

Hasil optimasi pemilihan tekanan kepala sumur, tekanan *separator*, tekanan *scrubber* dan tekanan masuk turbin dapat dilihat pada **Tabel I.**

ISBN 978-979-17724-9-5

b. Penentuan Diameter Pipa

Seperti pada pemilihan tekanan kepala sumur, batasan kecepatan pada pipa alir dua fasa dan satu fasa uap, digunakan untuk memilih ukuran pipa dengan menggunakan *software PipeSim*.

c. Penentuan Tebal Pipa

Tebal pipa dapat di tentukan berdasarkan **Persamaan (6)**, sedangkan *schedule number*-nya ditentukan berdasarkan **Persamaan (7)**.

Tebal pipa dan *schedule number* dari hasil perhitungan disesuaikan dengan tebal pipa dan *schedule number* di pasaran berdasarkan *standart API 5L*. Hasil selengkapnya untuk dimensi pipa sumur SIL 1-3, disajikan pada **Tabel II** dan sumur SIL 1-2/1-4 pada **Tabel III**.

Tebal isolasi diasumsikan berdasarkan tebal di beberapa lapangan panasbumi dunia, tidak lebih dari 10 cm.

d. Proses Pemisahan

Proses pemisahan di *separator* berdasarkan **Persamaan (8)**, parameter aliran yang masuk *separator*-1, seperti : massa total, *dryness*, enthalpi dan temperatur diperoleh dari hasil *output running* program *PipeSim* berdasarkan data masukkan parameter aliran di kepala sumur dengan tekanan optimum 26 bar.

Hasil pemisahan uap yang keluar dari *separator*-1, akan di alirkan menuju *scrubber*-1, data yang di peroleh dari parameter aliran uap keluar *separator*-1, adalah : tekanan, temperatur, enthalpi uap dan laju massa (dengan asumsi *dryness* = 1).

Berdasarkan parameter data uap yang keluar dari *separator*-1, digunakan sebagai data masukkan simulator *PipeSim* untuk aliran uap sampai *scrubber*-1, di *scrubber*-1 proses pemisahan antar kondensat dengan uap yang mengalami kondensasi berdasarkan **Persamaan (8)**.

Di *scrubber*-1, uap yang dihasilkan di alirkan ke masukkan turbin bertekanan tinggi dan kondesat di buang melalui *drain*.

Untuk aliran cairan dari *drain separator*-1 dialirkan menuju *separator*-2, parameter aliran dari *separator*-1 adalah, tekanan, temperatur, massa uap dan enthalpi dengan asumsi *dryness* = 0.

Data dari cairan fluida *separator*-1 ini sebagai masukkan simulator *PipeSim* sampai *separator*-2 (aliran satu fasa) dengan tujuan mengekstrak uap karena tekanan diturunkan dari tekanan *separator*-1 menuju tekanan *separator*-2.

Hasil keluaran simulator *PipeSim* dari aliran cairan *separator*-1 merupakan data masukkan *separator*-2, dengan menggunakan **Persamaan (8)**. Sehingga besarnya uap dapat ditentukan, data uap yang keluar dari *separator*-2, merupakan data masukkan simulator *PipeSim* untuk mencapai *scrubber*-2, sehingga uap yang bebas dari kondensasi dapat ditentukan menggunakan **Persamaan (8)** dan dialirkan ke masukkan turbin bertekanan rendah. Sedangkan hasil kondensasi di *scrubber*-2 dibuang melalui *drain* untuk diinjeksikan.

Besarnya air *brine* dan temperatur dari masing-masing *separator*-2, untuk sumur SIL 1-2/1-4 sebesar 745 ton/jam, temperatur 199 °C, sumur SIL 1-3, air *brine* sebesar 655 ton/jam, temperatur 198 °C.

Besarnya air kondensasi dari *scrubber* (*scrubber*-1 dan *scrubber*-2), total 95,5 ton/jam.

e. Penentuan Dimensi *Separator*

Berdasarkan **Persamaan (9)** dan **Persamaan (10)**, diperoleh diameter dan tinggi *separator*. Berdasarkan data diameter dan tinggi *separator* dengan menggunakan simulator *PV Engineering* diperoleh tebal *vessel*. Dimensi perencanaan dari *vessel* pada **Tabel IV** dan **Tabel V**.

Lay out surface facilities lapangan panasbumi Silakitang, dari sumur SIL 1-2/1-4, SIL 1-3, disajikan pada **Gambar 8** (untuk satu pembangkit 55 MW).

ISBN 978-979-17724-9-5

f. Turbin yang Diperlukan

Berdasarkan optimasi pencapaian daya listrik 2x55 MW, turbin yang diperlukan memiliki tekanan masukkan tinggi 15 bar dan tekanan masukkan rendah 2,7 bar. Dengan demikian rumah turbin memiliki aliran ganda untuk menerima aliran uap, dinamakan *turbine double flow*.

ANALISIS

Tujuan studi ini adalah membangun pembangkit listrik tenaga panasbumi (PLTP) 2x55 MW, karena sesuai dengan potensi reservoir dan potensi sumur yang ada di lapangan panasbumi Silakitang.

Hal ini dimaksudkan agar harga listrik jauh lebih murah dibandingkan dengan harga listrik pembangkit berskala kecil (<10 MW).

Studi ini juga ingin melihat sampai sejauh mana pengaruh pemisahan bertingkat dalam pencapaian target pembangkit menghasilkan 2x55 MW, karena reservoir hanya mampu menerima maksimal injeksi air *brine* sebesar 1650 ton/jam dengan alokasi, 1400 ton/jam dari *separator*-2 dan dari *scrubber* 95,5 ton/jam, sisanya dari air kondensat *cooling tower* (dialokasikan 150 ton/jam).

Uap air dari turbin yang kemudian dikondensasikan menjadi cairan di kondenser, dialirkan ke *cooling tower* juga akan diinjeksikan, namun menurut pengalaman hampir 75 % air teruapkan ke udara, sehingga alokasi 150 ton/jam dari *cooling tower* mampu diserap reservoir.

Strategi penginjeksian untuk air *brine* dari *separator*-2 dan air kondensat dari *scrubber* sebesar total 1495,5 ton/jam, direncanakan diinjeksi pada reservoir dangkal dengan kedalaman -500 mdpl (1200 m dari permukaan tanah).

Air kondensat dari *cooling tower* rencana diinjeksikan dengan sumur injeksi tersendiri ke reservoir dalam, pada kedalaman -1200 mdpl (2300 m dari permukaan tanah) dan di alokasikan 150 ton/jam.

Dari hasil simulasi reservoir, maksimal air yang diinjeksikan ke reservoir sebesar 1650 ton/jam tidak menyebabkan saturasi air meningkat di reservoir utama pada kedalaman -1200 mdpl (2300 m dari permukaan tanah).

Berdasarkan uji injektivitas, kemampuan reservoir menyerap air *brine* sebesar 212 ton/jam/sumur, sehingga jumlah sumur yang diperlukan sebanyak (1495,5/212) (ton/jam) /(ton/jam/sumur) = 7 sumur injeksi dari *separator*-2 dan *scrubber*, 1 sumur injeksi dari air kondesat *cooling tower*. Letak sumur-sumur injeksi air *brine*, disajikan pada **Gambar 9**.

Data utama yang diperlukan sebagai dasar perencanaan peralatan di permukaan adalah *output curve* sumur SIL 1-2/1-4 dan SIL1-3.

Berdasarkan kurva tersebut menunjukkan plot data yang relatif mendatar, artinya tekanan kepala sumur tidak sensitif terhadap laju massa di kepala sumur.

Sehingga lebih berdaya guna diproduksikan pada tekanan kepala sumur yang tinggi dibandingkan dengan tekanan kepala sumur rendah.

Demikian juga turbin diproduksikan pada tekanan masuk yang tinggi (15 bar dan 2,7 bar), dengan tujuan :

1. Memerlukan massa yang relatif lebih sedikit daripada turbin yang memiliki tekanan masuk rendah.
2. Rumah turbin memerlukan material yang lebih sedikit, demikian juga sudu-sudu tidak sepanjang turbin bertekanan rendah, sehingga harga turbin lebih murah dan sudu-sudu tidak mudah patah.
3. Pada turbin bertekanan tinggi memerlukan sistem pengoperasian perpipaan dengan tekanan dan temperatur yang tinggi, hal ini untuk menghindari terjadinya *scaling*.

Sistem perpipaan telah disesuaikan dengan kemampuan aliran maksimal, yang dapat menyebabkan erosi dinding pipa bagian dalam, untuk aliran dua fasa dibatasi kecepatan maksimal, 30 m/dt dan aliran uap satu fasa 50 m/dt.

ISBN 978-979-17724-9-5

Aliran dalam pipa juga dibatasi dengan minimal kecepatan, yaitu untuk aliran dua fasa 20 m/dt dan aliran uap minimal 30 m/dt dengan tujuan menjamin proses adiabatis di dalam pipa dan di *separator*.
Tebal pipa merupakan tebal minimum dengan *yield strength* 18000 psi (material yang tahan korosi memiliki *yield strength* rendah), hal ini untuk mengatasi korosi, karena komposisi fluida yang mengalir mengandung *non condensable gas* (3 %).
Dimensi *separator* menjamin pemisahan uap dari cairan secara sempurna, dengan merencanakan perbandingan R_2/R_1 pada kisaran dari 0,3 hingga 0,5 seperti yang disarankan *Paul Bixly* (1982).
Demikian juga material *separator/scrubber* (*SA 516 grade 70*) merupakan material yang tahan terhadap tekanan tinggi dan *non condensable gas*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil studi dapat disimpulkan :

1. Untuk melaksanakan tiga batasan di atas diperlukan satu sumur produksi tambahan, yaitu sumur SIL 1-4 dengan posisi diantara sumur SIL 1-2 dan SIL 1-3, dibor sampai kedalaman -1200 mdpl (2300 m dari permukaan tanah).
2. Dengan menambah satu sumur produksi, yaitu SIL 1-4 berakibat produksi listrik menjadi 135 MW melebihi target 110 MW.
3. Total air *brine* sebesar 1495,5 ton/jam pada temperatur percampuran di *separator*-2 sebesar 198 °C, berdasarkan studi simulasi reservoir maksimum laju injeksi maksimum kedalam reservoir dangkal (-500 mdpl) adalah 1650 ton/jam pada temperatur 120 °C tidak memiliki efek negatif pada reservoir utama (-1200 mdpl atau kedalaman 2300 m).

Saran

1. Hasil perhitungan menunjukkan 135 MW disarankan membangun pembangkit 2x60 MW sebagai ganti 2x55 MW.
2. Temperatur yang keluar dari *separator*-2 masih tinggi (198 °C) dan massa total dari *separator*-2 dan *scrubber* 1495,5 ton/jam sehingga dapat digunakan untuk pembangkit *binary* atau tujuan pengeringan sebelum air diinjeksi kedalam reservoir dangkal (180 °C).

DAFTAR PUSTAKA

Unpublish. 1997. *Data Uji Produksi Sumur Panasbumi, Lapangan Panasbumi Sarulla, Unocal Geothermal Indonesia.*

Unpublish. 1997. *Data Earth Science Study Lapangan Panasbumi Sarulla.*

Freestone, D. H. 1986. *'Teaching The Teacher' Geothermal Technology, Engineering Edition, Vol 1, 2, 3. Institut Teknologi Bandung : Bandung.*

Grant, M. & Donaldson, I. G. & Bixley, P. F. 1982. *Geothermal Reservoir Engineering. Academic Press Inc : London.*

Lee, K. C. 1994. *Geothermal Production Technology. Geothermal Institute University of Auckland : New Zealand.*

Pramudiohadi, E. W. 1999. *Optimasi Pipa Salur Fluida Panasbumi Untuk Reservoir Dominasi Air. Tesis Magister Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung : Bandung.*

Wahl, F. E. 1977. *Geothermal Energy Utilization. Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons : New York*